

# 유공유리분말 혼입 고강도 콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on the Material Properties of High Strength Concrete with Hollow Glass Powder

윤 섭<sup>1</sup>

이 한 용<sup>2</sup>

서 태 석<sup>3\*</sup>

Yoon, Seob<sup>1</sup>

Lee, Han-Yong<sup>2</sup>

Seo, Tae-Seok<sup>3\*</sup>

Senior Researcher(Ph.D), R&D Center, Sampyo Industry, Gyeonggi-do, 12768, Korea <sup>1</sup>

Associate Researcher, R&D Center, Sampyo Industry, Gyeonggi-do, 12768, Korea <sup>2</sup>

Deputy General Manager(Ph.D, PE), Technology Research Center, Hyundai, Jongno-Gu, Seoul, 03058, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

In this study, in order to confirm the applicability of Hollow Glass Powder(HGP) in 70MPa-class high strength concrete, the fresh and hardened states were examined according to the amount of HGP, and the results are as follows. The flow characteristics showed that the slump flow increased slightly as the amount of HGP was increased, and the T500 was slightly shortened as the amount of HGP was increased, and the rebar passing ability was improved due to the ball bearing effect of HGP. In particular, it showed the best rebar passing ability at a usage of 1.0kg/m<sup>3</sup>. The use of HGP 1.0kg/m<sup>3</sup> resulted in a 40% reduction in plastic viscosity, but the viscosity increased at 2.0kg/m<sup>3</sup>. Through experiments, it was confirmed that HGP was helpful in improving the workability of high-strength concrete, and the usage of 1.0kg/m<sup>3</sup> is considered to be the most appropriate. It was confirmed that HGP does not affect concrete compressive strength.

Keywords : hollow glass powder, high strength concrete, flow characteristics, plastic viscosity, workability

### 1. 서 론

고강도 콘크리트와 같이 높은 분체량을 갖는 콘크리트는 경제성 확보를 위해서 단위수량을 낮게 사용하여 이로 인해 굳지 않은 상태에서 높은 점성을 갖는다. 이러한 높은 점성은 콘크리트의 재료분리 저항성을 향상시켜주지만 반대로 펌프압송 시, 압송 장비의 부하를 높이고 콘크리트가 압송관을 통과할 때, 압송관의 내벽과 콘크리트간의 마찰

을 향상시켜 압송 후 유동성 손실을 발생시켜 작업성 하락 및 심하게는 압송관의 폐색까지 발생할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 고성능 감수제에 저점성 성능을 부여하여 콘크리트의 점성을 낮추는 방법에 대한 연구[1]와 실리카흄을 시멘트와 치환하여 사용하는 방법에 대한 연구[2]가 진행되었다. 하지만 고성능 감수제에 저점성 성능을 부여하는 화학적 접근 방법은 압축강도가 함께 낮아지기 때문에 시멘트 사용량이 증가하는 역효과가 있고 실리카흄을 사용하는 방법은 콘크리트의 점성을 낮추는 효과와 함께 미세공극 필러 효과로 인해 압축강도가 상승하지만 고가이고 레미콘 공장 적용 시, 실리카흄이 저장빈에 붙어서 잘 내려오지 않거나 레미콘 혼합시간이 증가되어 생산성이 하락하는 문제점을 가지고 있다.

콘크리트의 작업성 개선을 위한 기존 기술의 문제점을

Received : June 5, 2020

Revision received : July 21, 2020

Accepted : July 23, 2020

\* Corresponding author : Seo, Tae-Seok

[Tel: 82-2-746-0247, E-mail: tsseo@hdec.co.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

보완하고 콘크리트의 작업성을 향상시키기 위해 40MPa 콘크리트를 대상으로 유공유리분말(이하, HGP)을 혼입하여 실험적 연구[3]를 수행하였다. 그 결과 HGP의 소량 투입(0.5~1.0kg/m<sup>3</sup>)으로 콘크리트의 점성이 감소하고 유동성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. HGP는 소다 라임 보로실리케이트 유리(Soda-lime-borosilicate glass)로 만들어진 고강도, 저비중의 미세한 분말 형태의 물질로 작업성 향상에 도움이 되므로 (점성 감소, 유동성 증가) 다양한 분야(도막재료, 플라스틱 사출 등)에 광범위하게 활용되고 있는 재료이다.

따라서 본 연구에서는 70MPa급 고강도 콘크리트를 대상으로 한 HGP 콘크리트의 프레스 상태의 유동 특성과 레올로지 특성을 검토하였으며 압축강도도 검토하여 향후, HGP가 고강도 콘크리트 분야에 적용될 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 작업성 개선을 위하여 70MPa급 콘크리트를 대상으로 HGP의 사용량을 변화시켜 실험하였는데, 그 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저, 70MPa 고강도 콘크리트 배합은 단위수량 160kg/m<sup>3</sup>와 분체량 560kg/m<sup>3</sup>을 사용하였다. 사용된 분체는 3종 조강 포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 미분말, 플라이애시의 3성분계를 사용하였다. HGP가 고강도 콘크리트에 미치는 영향을 분석하기 위하여 그 사용량을 0, 0.5, 1, 2kg/m<sup>3</sup> 변화시켜 총 4수준으로 실험계획하였다. 이때, HGP를 사용하지 않은 Plain의 목표 슬럼프플로는 650±50mm, 공기량은 3.5±1.5%로 설정하였다. 감수제 사용량은 Plain 배합에서 설정된 값을 전 배합에 동일하게 적용하여 HGP가 유동성, 재료분리 저항성, 레올로지 및 압축강도에 미치는 영향을 분석하도록 하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트의 작업성을 평가하기 위하여 슬럼프플로, 공기량, T<sub>500</sub>, J-ring flow, V-lot를 측정하였다. 그리고 작업성을 정량적으로 표현하기 위하여 레올로지 값 중 소정점도값을 측정하였다. 경화 콘크리트 특성으로 압축강도를 재령 18시간, 7일, 28일에서 측정하도록 하였다.

Table 1. Experiment factors and tests

	Items	unit	Variables
Experiment Factor	HGP	kg/m <sup>3</sup>	0, 0.5, 1, 2
	Slump flow	mm	0min
Tests	Air	%	0min
	T <sub>500</sub>	sec	0min
	J-ring flow	mm	0min
	V-lot	sec	0, 60min
	Plastic viscosity	Pa.s	0min
	Compressive strength	MPa	18hr, 7, 28day

Table 2. Mix proportions of the concrete

Specimen name	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				AD (%B)	HGP (kg/m <sup>3</sup> )
			W	B	S	G		
P1								0
G-0.5	28.6	52.3	160	560	859	810	1.6	0.5
G-1.0								1.0
G-2.0								2.0

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 분체

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사의 3종 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 특성은 Table 3과 같다. 또한 고로슬래그 미분말과 플라이애시는 국내 S사에서 생산된 것을 사용하였고 그 물리적 특성은 Table 4, Table 5와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Physical Properties	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Compressive strength(MPa)		
			Initial (min)	Final (hr)	3d	7d	28d
	3.15	4883	223	6.4	42.9	51.9	61.8

Table 4. Physical properties of ground granulated blast furnace slag

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Activity Factor(%)		Flow ratio (%)
		7day	28day	
2.91	4,014	56	89	110

Table 5. Physical properties of fly ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Activity Factor(%)		Flow ratio (%)
		7day	28day	
2.17	3,667	67	80	100

### 2.2.2 골재

굵은 골재는 충북 제천 지역에서 생산되는 20mm 석회암 골재를 사용하였으며, 잔골재는 경기도 화성 지역의 부순모래와 인천 지역의 세척사를 사용하였다. 각각의 물리적 특성은 Table 6과 같다.

Table 6. Physical properties of aggregates

	Density(g/cm <sup>3</sup> )	F.M.	Absorption(%)
Crushed sand	2.59	3.04	1.50
Washed sand	2.60	1.94	1.30
Coarse aggregate	2.74	6.84	0.39

### 2.2.3 혼화제

본 연구에 사용된 고성능 감수제는 폴리카본산계의 저점성 고성능감수제를 사용하였고 밀도는 1.06g/cm<sup>3</sup>이다. AE제는 물로 10배 희석하여 사용하였다.

### 2.2.4 HGP (Hollow Glass Powder)

Table 7은 HGP의 물리적 특성을 나타낸 것이고 Figure 1은 HGP의 형태를 나타낸 것이다. HGP는 밀도 0.3~0.4정도로 경량이고 분말도가 6,000~ 10,000cm<sup>2</sup>/g 정도로 매우 미세하다. 또한 그 형태는 구형을 띠고 있으며 Soda Lime Borosilicate glass의 구성성분으로 이루어진 셀로 막을 형성하며 그 안은 중공으로 되어 있다. 파괴강도는 100MPa 이상으로 매우 높고 구형으로 볼베어링 효과로 작업성 향상에 도움이 되기 때문에 도막재료 및 플라스틱 주물 등 다양한 분야에 사용되고 있다.

Table 7. Physical properties of hollow glass powder

Density (g/cc)	90% Breaking strength (MPa)	Particle size distribution(um, by volume)			
		10th%	50th%	90th%	Effective top size (>=95%)
0.46	110	10	20	20	20



Figure 1. Hollow Glass Powder(HGP)

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 슬럼프 플로 및 T<sub>500</sub>

슬럼프 플로는 KS F 2594에 따라 실험하였다. T<sub>500</sub>은 굳지 않은 콘크리트의 점성을 간접적으로 표현할 수 있는 방법으로 슬럼프플로 측정 중 500mm 도달할 때의 시간을 측정하는 것이다.

### 2.3.2 V-lot

V-lot는 KSCE 2003-03의 “갈대기를 사용한 유하 시험 방법”에 따라 실시하였다.

### 2.3.3 레올로지 시험

굳지 않은 콘크리트의 레올로지 측정은 Biel사의 Rhetribo를 사용하여 측정하였다. Rhetribo는 굳지 않은 콘크리트의 항복응력과 소성점도를 측정할 수 있는 시험기기이다. 측정 방법은 직경 286mm인 용기에 굳지 않은 콘크리트를 300mm 높이까지 채운 후 시험 기기의 날개판(직경, 높이 127mm)을 용기 중앙에 배치하고 콘크리트의 점도를 일정하게 유지하기 위해 약 20초 동안 0.5rev/s의 속도로 회전시킨 후 30초 동안 회전속도를 0.5rev/s에서 0.05rev/s까지 감소시켜가며 날개판에서 발생하는 비틀림 모멘트 값을 5초마다 총 7회 측정하며, 측정된 값을 직선 회귀하여 얻어지는 직선 기울기로부터 소성점도를 산출하였다.

### 2.3.4 J-ring flow

콘크리트의 철근 통과성을 평가하기 위하여 J-ring test를 실시하였다. 굳지 않은 콘크리트의 점성 및 재료분리 저항성은 철근 통과성에 영향을 준다. 점성의 저하는 펌프 압송을 원활하게 하고 작업성을 향상시키지만 고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 악화시키는 단점을 가지고 있다. HGP는 40MPa 콘크리트를 대상으로 한 기존 연구[3]에서는 콘크리트의 점성을 낮추고 재료분리 저항성을 증가시키는 결과를 확인하였다. J-ring flow의 측정은 Figure 2와 같이 ASTM C 1621에 의거하였다. Ring안에 슬럼프 콘을 놓고 슬럼프플로 시험과 동일한 방법으로 수행하여 콘크리트의 흐름이 멈춘 후 2방향으로 지름을 측정하여 평균으로 하였다. 평가 방법은 슬럼프플로 값과 비교하여 그 차이가 Table 8(통과성 등급)에 표현된 것과 같이 25mm 이하 이면 우수한 철근 통과성을 갖는 것으로 평가한다.



Figure 2. J-ring test

Table 8. Passing ability criteria(ASTM C 1610)

SF-SF <sub>J</sub>	Passing ability rate	Notes
< 25mm	0	No visible blocking
25mm~50mm	1	Minimal to noticeable blocking
> 50mm	2	Noticeable to extreme blocking

\*SF : Slump flow  
 \*SF<sub>J</sub> : J-ring flow

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 유동 특성

HGP는 분말도가 6,000~10,000cm<sup>2</sup>/g 정도로 미세한 크기의 구형 형태를 가지고 있다. 이에 HGP를 콘크리트에 사용하게 되면 유동성 증가가 예상되었다. Figure 3은 HGP 사용에 따른 슬럼프플로의 변화를 나타낸 것이다. 실험을 시작하기 전에 예상했던 대로 슬럼프플로는 HGP의 사용량이 증가할수록 함께 증가하는 것으로 나타났다. HGP를 사용하지 않은 Plain의 경우 슬럼프플로 660mm 인데 반해 HGP 2kg/m<sup>3</sup>에서는 슬럼프플로가 40mm 늘어난 700mm로 측정되었다. 따라서 HGP는 고강도 콘크리트의 작업성(펌프압송 및 다짐) 향상에 도움이 될 것으로 판단되며, 또한 동일 슬럼프플로로 배합 설계 하게 되면 단위수량이 낮아지는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

T<sub>500</sub>은 고유동 콘크리트의 점성을 판단하는 기준으로 시간이 바를수록 굳지 않은 상태에서 콘크리트의 점성이 낮아졌다고 판단할 수 있다. Figure 4와 같이 HGP의 사용량이 증가할수록 T<sub>500</sub>의 시간은 단축되는 것을 알 수 있다. 이는 HGP의 형상이 구형이기 때문에 석회석 미분말을 SCC에 사용하였을 때[4]와 같이 불베어링 효과로 인해 콘크리트의 점성이 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다.

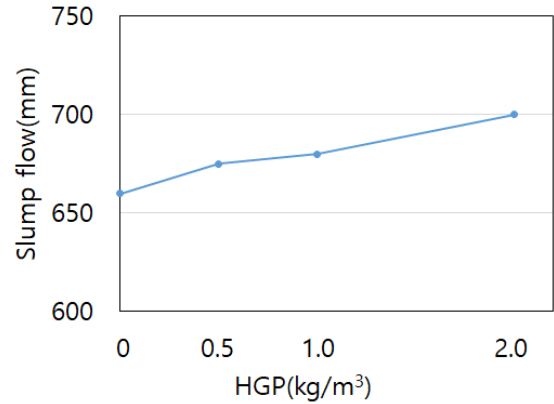


Figure 3. Slump flow according to HGP

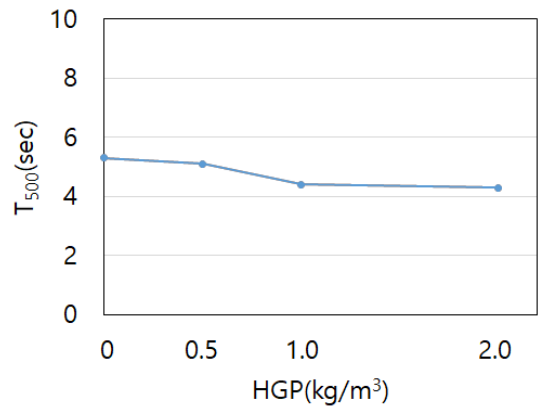


Figure 4. T<sub>500</sub> according to HGP

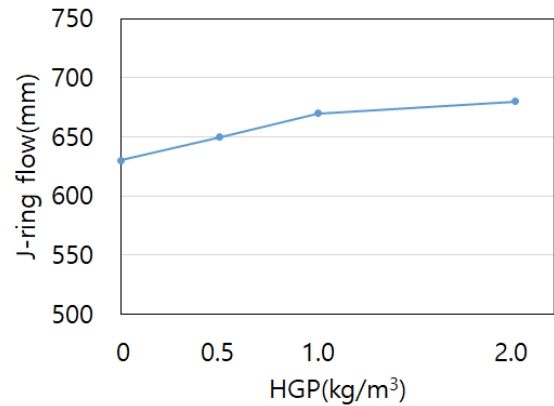


Figure 5. J-ring flow according to HGP

HGP의 철근 통과성 개선 성능을 평가하기 위하여 J-ring flow를 측정하였다(Figure 5). 일반적으로 J-ring flow 값을 판단하는 기준으로 슬럼프플로의 값과 비교하여 J-ring flow의 값 차이가 25mm 이하이면 통과성 0등급으로(ASTM C 1610) 통과성 우수한 콘크리트로 판단할 수 있다. Figure 6을 보면 Plain의 경우 슬럼프플로와 J-ring flow의 차이가

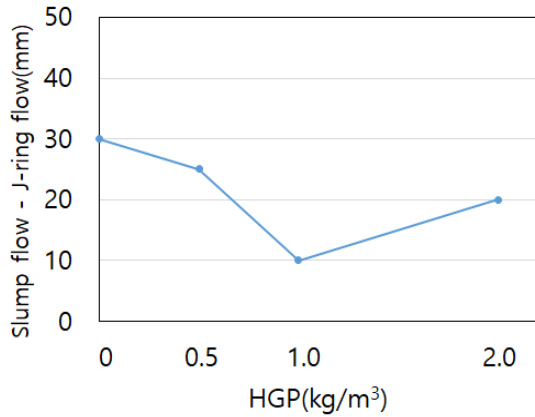


Figure 6. J-ring flow and slump flow according to HGP

30mm로 통과성 1등급으로 철근 통과성이 약간 부족한 것을 알 수 있다. 하지만 HGP를 사용할 경우, 철근 통과성이 개선되는 것을 확인할 수 있는데, 특히 HGP 1kg/m<sup>3</sup>에서 10mm로 철근 통과성이 가장 우수한 것으로 판단된다. HGP의 철근 통과성 개선 효과는 구형의 미세분말로 굵은 골재간의 간섭을 줄이기 때문인 것으로 예상된다[5].

Figure 7은 HGP 사용량에 따른 V-lot를 0분과 60분 경시변화 이후 측정된 결과를 나타낸 것이다. V-lot 유하 시간은 고유동 콘크리트의 점성과 관련되어 점성이 높으면 시간이 길어지고 점성이 낮아지면 시간이 짧아지는 특징이 있다. 실험결과, 초기 0분에서는 HGP을 사용할 때, 약간 유하시간이 짧아지는 것으로 나타났지만 큰 차이는 보이지 않았다. 60분 경시 이후의 V-lot 값은 HGP 사용량이 많아질수록 유하시간이 단축되는 것으로 나타났다. 콘크리트의 유동 특성 중 특히 굳지 않은 콘크리트의 점성은 동일 유동성일지라도 시간이 경과함에 따라 점성이 증대하는 특징이 있다. 또한 이러한 특성은 레미콘 공장에서 생산할 때와 현장 도착 후 점성차이가 발생하여 콘크리트 펌프 압송을 예측하는데 어려움이 따른다. HGP를 사용하게 되면 경시 이후에 굳지 않은 콘크리트의 점성 변화가 적어 콘크리트 펌프 압송에서 발생할 수 있는 문제점(토출량, 토출압력 손실 등)[6]을 최소화 시키는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

### 3.2 레올로지 특성

Figure 8은 레올로지 특성 중 소성점도 값을 HGP 사용량에 따라 나타낸 것이다. 레올로지 특성 중 항복응력은 슬럼프플로 650mm 이상에서 30Pa 이하로 낮게 측정되

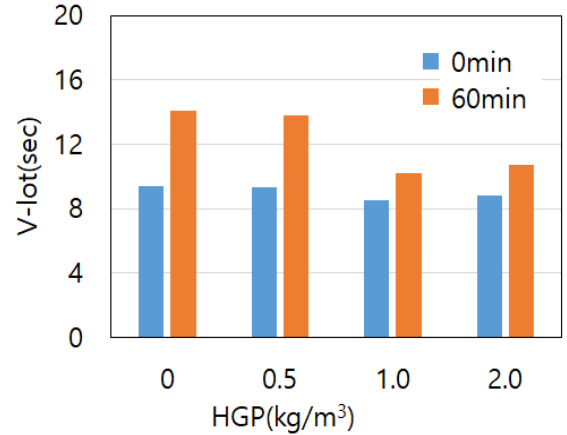


Figure 7. V-lot according to HGP(0, 60min)

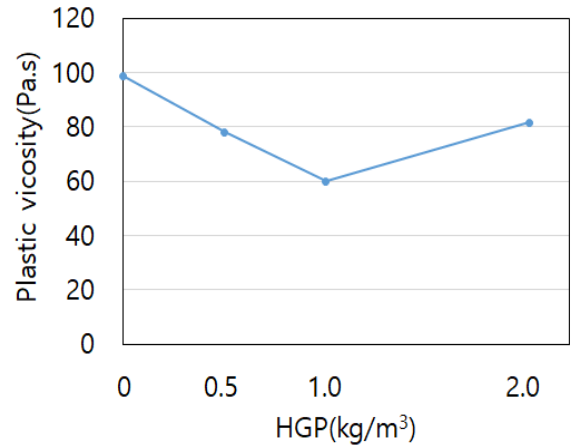


Figure 8. Plastic viscosity according to HGP

므로 본 연구에서는 언급하지 않기로 하였다. 연구를 시작하기 전에 예상하기로는 HGP의 특성상 그 사용량을 계속 증가시키면 소성점도가 지속적으로 낮아질 것으로 판단하였으나, 실험결과에서는 HGP 1kg/m<sup>3</sup>까지 소성점도가 낮아지고 이후 2kg/m<sup>3</sup>에서는 다시 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 실리카흄에도 나타나는데, 실리카흄을 5% 이하 범위에서는 소성점도가 낮아지나, 이 이상 사용하면 소성점도가 오히려 상승하는 경향이 있다. 이러한 현상은 HGP를 일정량 이상 사용하였을 때는 HGP의 볼베어링 효과로 인해 점성이 낮아지지만 일정량 이상 사용하게 되면 콘크리트 안에 미세한 입자가 증가하고 이 입자가 물과 흡착하는 현상을 나타내어 소성점도가 오히려 증가되는 것으로 추정되며 이 부분에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

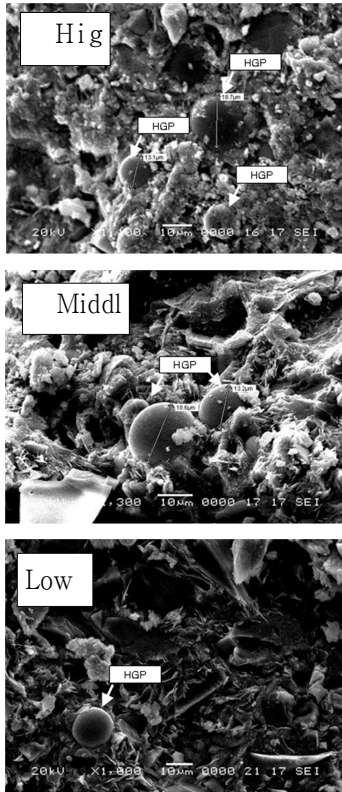


Figure 9. SEM

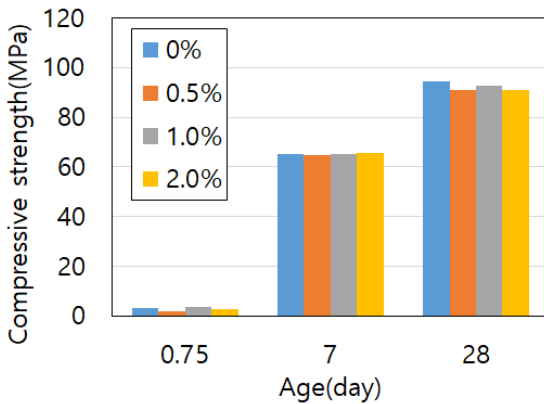


Figure 10. Compressive strength according to HGP

### 3.3 미세 구조

Figure 9는 재령 28일에서 HGP 1kg/m<sup>3</sup>를 대상으로 SEM에 의한 미세 구조를 나타낸 것이다.

φ100×200mm 원주형 공시체를 대상으로 상, 중, 하로 나누어 콘크리트 내부에 HGP를 SEM으로 촬영하였는데, HGP의 특성 상 밀도가 낮기 때문에 콘크리트 상부로 떠오르는 현상이 심하게 발생되지 않을까 하는 예상도 했으나, SEM 촬영 결과 HGP가 전반적으로 고르게 분포하고 있는 것으로 판단되었다.

### 3.4 압축 강도

Figure 10은 HGP 사용량에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 재령 28일에서 Plain 94.5MPa, 0.5kg/m<sup>3</sup> 93.3MPa, 1kg/m<sup>3</sup> 94.1MPa 2kg/m<sup>3</sup> 93.5MPa로 HGP가 콘크리트의 압축강도에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 그 이유는 HGP의 파괴강도가 100MPa 이상으로 고강도이며 소량 혼입되기 때문인 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 70MPa급 고강도 콘크리트에서 HGP의 적용성을 확인하기 위하여 HGP 사용량에 따라서 프레스 상태와 경화 상태를 검토하였고, 그 실험결과는 다음과 같다.

- 1) HGP를 사용하지 않은 Plain의 경우 슬럼프 플로 660mm인데 반해 HGP 2kg/m<sup>3</sup>에서는 슬럼프플로 40mm 늘어난 700mm로 측정되었다.
- 2) HGP를 사용할 경우, 철근 통과성이 개선되는 것을 확인할 수 있는데, 특히 HGP 1kg/m<sup>3</sup>에서 철근 통과성이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- 3) V-lot 테스트 결과 0분에서는 유하시간의 큰 차이는 없었으나 60분 경시 이후에는 HGP 사용량이 많아질수록 시간이 단축되는 것으로 나타났다.
- 4) HGP 1kg/m<sup>3</sup>까지 소성점도가 40% 정도 감소하는 하였지만 2kg/m<sup>3</sup>에서는 다시 상승하는 것으로 나타났다.
- 5) 실험을 통하여 HGP가 고강도 콘크리트의 작업성 향상에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었으며 HGP 사용량 1kg/m<sup>3</sup>가 가장 적절한 것으로 판단 된다.
- 6) SEM 촬영 결과 HGP가 콘크리트 내부에 전반적으로 고르게 분포하고 있는 것으로 판단되었다.
- 7) HGP가 콘크리트 압축강도에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

### 요 약

본 연구에서는 70MPa급 고강도 콘크리트에서 유공유리 분말(HGP)의 적용성을 확인하기 위하여 HGP 사용량에 따라서 프레스 상태와 경화 상태의 물성을 검토하였고, 그 실험결과는 다음과 같다. 유동 특성은 HGP의 사용량이 증가할수록 슬럼프플로가 약간 증가하는 하는 것으로 나타났고

T<sub>500</sub>은 HGP의 사용량이 증가할수록 약간 단축되었으며, 철근 통과성은 HGP의 볼베어링 효과로 인해 개선되는 것으로 나타났다. 특히 사용량 1.0kg/m<sup>3</sup>에서 통과성 0등급으로 가장 양호한 철근통과성을 발휘하였다. 레올로지 특성으로는 HGP 1.0kg/m<sup>3</sup>에서 소성점도가 Plain 대비 40% 정도 감소하여 HGP가 고강도 콘크리트의 소성점도를 낮추는 효과가 있는 것으로 확인되었다. 하지만 HGP 2.0kg/m<sup>3</sup>에서는 1.0kg/m<sup>3</sup>보다 오히려 소성점도가 크게 나타났다. 실험을 통하여 HGP가 고강도 콘크리트의 작업성 향상에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었으며 사용량 1.0kg/m<sup>3</sup> 이 가장 적절한 것으로 판단된다. 또한 HGP가 콘크리트 압축강도에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

**키워드** : 고강도콘크리트, 유공유리분말, 유동특성, 소성점도, 작업성

## Funding

Not applicable

## ORCID

Seob Yoon, <https://orcid.org/0000-0002-8914-2691>

Han-Yong Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5856-2220>

Seo-Tae Seok, <https://orcid.org/0000-0003-1825-2348>

## References

1. Lee JS, Jang KP, Park CK, Kwon SH. Verification on effect of external injection of activation agent for lubrication layer through full-scale concrete pumping test. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2018 Dec;30(6):649-55. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2018.30.6.649>
2. M Nehdi A, S Mindess A, PC Aitcin B. Rheology of high-performance concrete: Effect of ultrafine particles. *Cement and Concrete Research*. 1998;28(5):687-97. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00022-2)
3. Yoon S, Han MC. Effect of hollow glass powder on the self-compacting concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Apr;18(2):141-9. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.2.141>
4. Gaoussou C, Nyombi T, James WK, Taleb O. Effect of limestone filler and waste ceramic tile aggregates on the workability of self-compacting concrete. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering*. 2018 Jan;5(2):1-9.
5. Yoon S, Han MC. Effect analysis of mix designing factors on workability and rheological parameters of self-compacting concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Apr;18(3):235-42. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.3.235>
6. Kim GD, Han CG. An experimental study on the concrete pumping technology of high performance concrete for the high-rise building construction. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2015 Aug;15(4):375-81. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2015.15.4.375>